

电化学法测定 Si 多层结构材料浓度分布

陈自姚 邵永富 朱福英

(中国科学院上海冶金研究所)

1985年8月12日收到

本文报道在研究 Si/EL 电极过程基础上,将电化学 C-V 技术用于测定适合 VLSI 用的双极型晶体管多层结构材料的载流子浓度剖面分布。

一、引言

随着 VLSI 硅器件的发展,备片方块电阻和磨角扩展电阻法间接测定多层浅结 Si 材料浓度分布,显得愈来愈不能适应。SIMS 法测得的是总杂质(活性和非活性的总和)剖面,且设备昂贵费时。近年来电化学 C-V 技术^[1]已普遍地用于 III-V 族半导体材料载流子浓度分布测量,但由于 Si 在 HF 溶液中的溶解价数受 HF 溶液浓度,半导体材料浓度,控制电位和光照强度等因素的影响^[2],测试结果报道甚少。本文在研究 Si/EL 电极过程基础上,考虑了上述因素,经验地将电化学 C-V 技术用于测定适合 VLSI 用的双极型晶体管多层结构材料的载流子浓度剖面分布。

二、测量方法

电化学 C-V 法测量装置见前文^[3]。测量原理是 Si 半导体材料同电解液接触形成 Mott-Schottky 势垒,利用可控阳极溶解和原位 C-V 测量,测得 Si 载流子浓度随深度(x)的剖面分布曲线。其浓度由方程得到

$$N = \frac{1}{q\epsilon_0\epsilon A^2} \frac{C^2}{dC/dV}$$

耗尽层宽度由平板电容器公式给出

$$W_D = \frac{\epsilon_0\epsilon A}{C}$$

腐蚀深度按法拉第定律计算

$$W_R = \frac{M}{Z F_D A} \int I dt,$$

总深度

$$x = W_D + W_R.$$

式中各符号的物理意义均同文献[3]。

三、测量结果

1. Si/EL 接触的电流-电压特性 Si 在 $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ($\text{pH} = 5$) 中的 $I-V$ 特性如图 1 所示。在阳极极化范围内, 不论是 P-Si 还是 n-Si 在 $0.2-1.2 \text{ V}$ 范围内均出现钝化区, 使阳极溶解电流出现极小值。当溶解电流超过 1.4 V 时, 阳极电流达到极限值, 这与所有半导体材料特性相似。表明 Si 阳极溶解应控制在 1.4 V 以上的较高电位下进行。

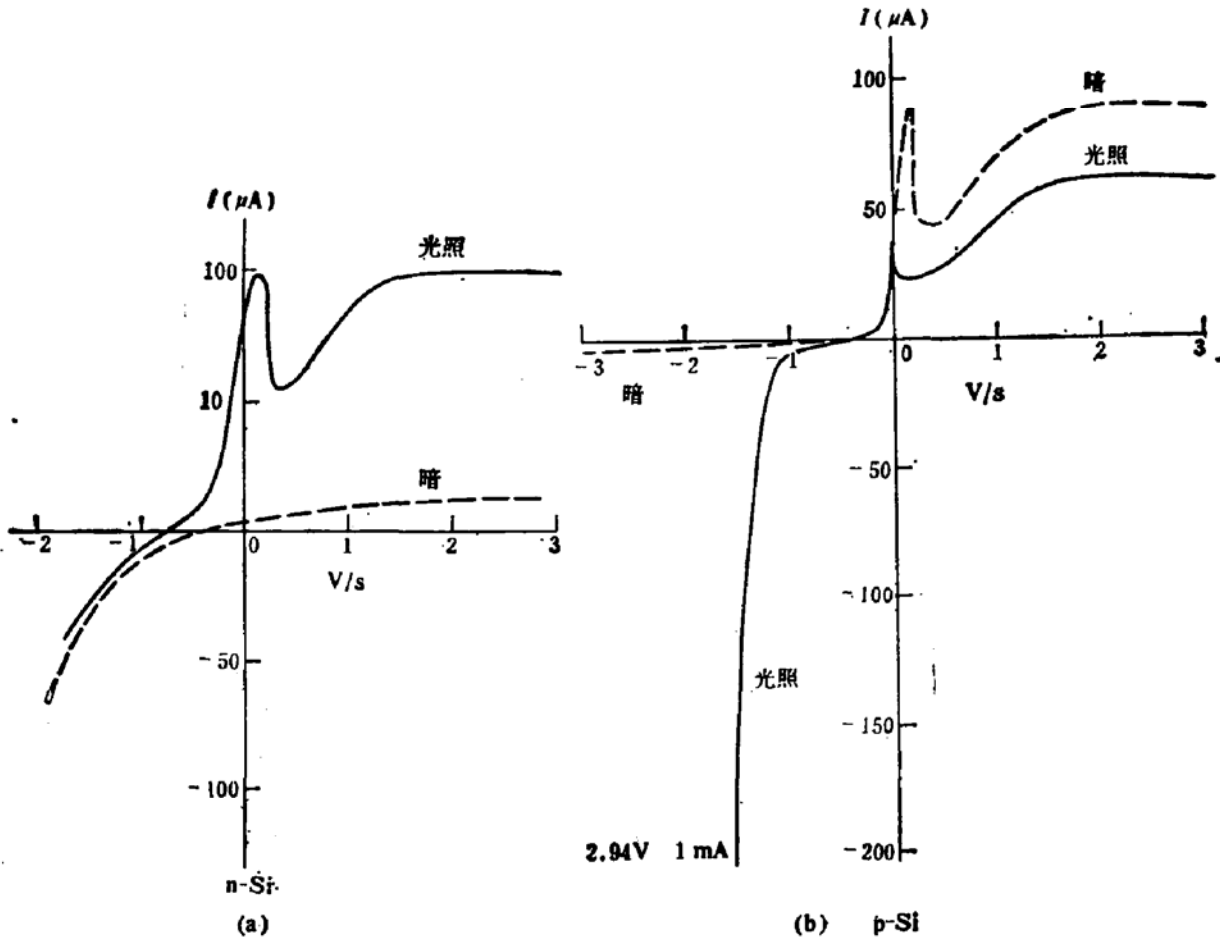


图 1 Si/ $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ($\text{pH} = 5$) 的 $I-V$ 特性

2. Si/EL 接触的 $C-V$ 特性 P-Si、n-Si 同 $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ($\text{pH} = 5$) 接触的 $C-V$ 特性见图 2。图中表明 Si/EL 接触的势垒特性在较宽的电压范围内均能符合 Mott-Schottky 方程。在本实验系统均采用 -0.2 V 下进行 $C-V$ 测量。从图可直接读出它们的平带电势值分别为 $V_{fb}^n = -0.34 \text{ V/SCE}$, $V_{fb}^p = 0.9 \text{ V/SCE}$, 从而求得 Si 的禁带宽度 $E_g = 1.2 \text{ eV}$ 。

3. 载流子浓度剖面分布

a. 单晶离子注入层的浓度分布 B^+ 直接注入到 Si 外延层的浓度剖面如图 3 所示。注入能量 $E = 50 \text{ keV}$, 剂量 $Q = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$, 经 1000°C 30 分钟 N_2 气氛退火。图中读出的 $R_p = 0.17 \mu\text{m}$, $n_{\text{peak}} = 6.7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 与理论计算基本相符。

b. $n-n^+$ 双层结构浓度分布 $10-20 \Omega\text{-cm}$ P-Si 上热氧化生成 700 \AA 的 SiO_2 后注 As^+

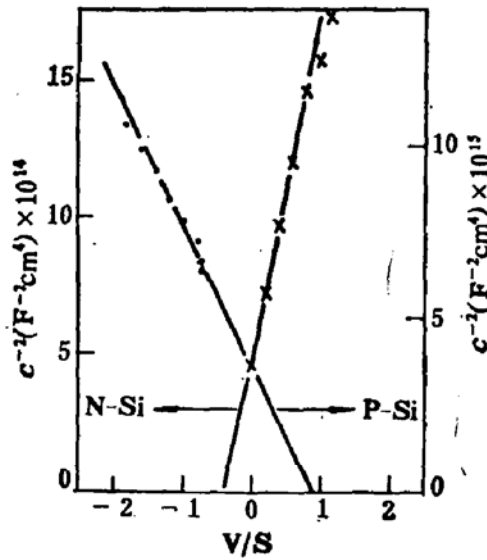


图2 Si/EL 接触的 C-V 特性

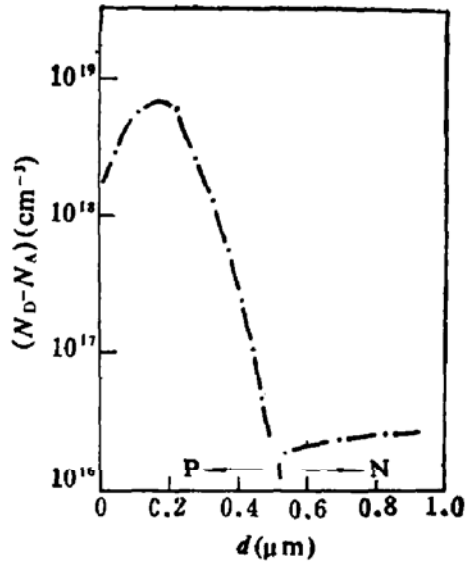


图3 B⁺→外延 Si 后的载流子浓度分布

(50keV, $4 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$), 1100°C 2 小时热退火形成隐埋层, 去 SiO₂ 层后外延生长 10^{16}cm^{-3} , $\sim 3 \mu\text{m}$ 的外延层, 组成 n-n⁺ 双层结构。测试结果见图 4。图中埋层同外延层界面过渡区为 0.8 μm 左右, 与文献[4]报道数据相近。

c. p⁺-n-n⁺-p⁻ 多层浅结材料浓度分布 图 5 表示在 P-Si 衬底上直接注 As⁺ 形成 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的埋层, 再在外延生长 10^{16}cm^{-3} 外延面上注 B⁺ 形成 10^{18}cm^{-3} , $x_j = 0.5 \mu\text{m}$ 的基区的样品。图中结果与制管工艺有较好的对应。

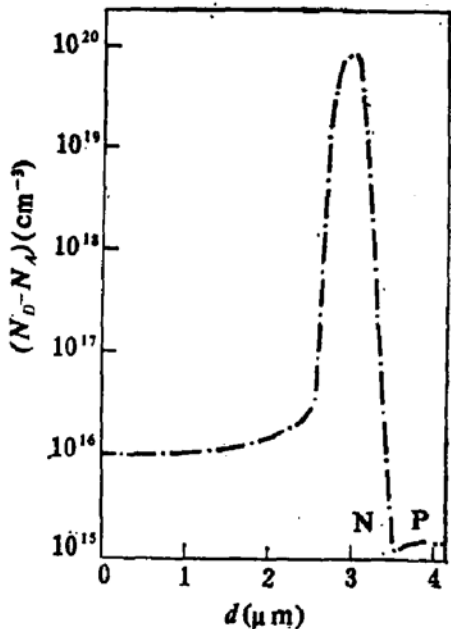


图4 n-n⁺-p⁻ 多层结构载流子浓度分布

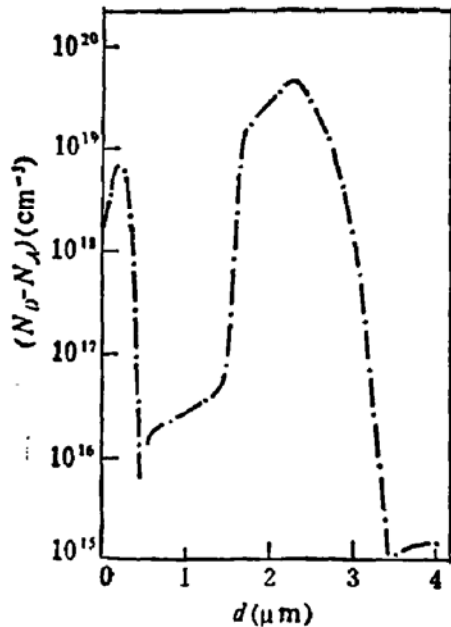


图5 p⁺-n-n⁺-p⁻ 四层结构载流子浓度分布

四、结 语

本文研究的 n, P-Si 材料在 HF-H₂SO₄ 电解液中的电极过程, 为电化学 C-V 技术

对 Si 材料的浓度测定提供了条件。经验地将电化学 $C-V$ 技术用于测定适合 VLSI 用的双极型晶体管多层异质材料的载流子浓度剖面分布, 所得结果与理论计算和器件工艺有较好地对应。对多晶 Si 材料浓度分布测定尚待进一步研究。

对我所一室陈明琪提供测试样品表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈自姚、邵永富、彭瑞伍, 科学通报(英文版), 27, No. 10, 1982.
- [2] C. D. Sharpe, P. Lilley, *J. Electrochem. Soc.*, 27, 1918(1980).
- [3] Shao Yongfu, Chen Ziyao, Peng Ruiwu, *Chinese Physics*, 13, 1049(1983).
- [4] VLSI Science and Technology 1982, Ed. by C. J. Dellóca and W. M. Bullis.

Electrochemical $C-V$ Method for Determination of Silicon Impurity Profile

Chen Ziyao, Shao Yongfu and Zu Fuying
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

Based on the investigation of the electrode process of Si/EL, the electrochemical $c-v$ method has been experimentally applied to determining the carrier concentration profiles of the multilayer construct materials in fabricating bipolar transistors of Silicon-VLSI.